干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.06.11

民勤绿洲边缘积沙带形成的环境条件①

常兆丰[1]， 朱淑娟[1]， 杜 娟[1]， 石学刚[2]， 段晓峰[1]， 赵 鹏[1]， 张剑挥[1]
（1 甘肃省治沙研究所，甘肃 兰州 730070； 2 甘肃农业大学林学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要： 甘肃河西地区经过60多年的防沙治沙，在绿洲边缘形成了一条积沙带。民勤绿洲边缘积沙带高4.8~18.6 m，宽30.4~461.4 m。为什么有的地段积沙带高大，而有的地段积沙带相对矮小，或者有的地段积沙带较宽，而有的地段积沙带较窄？对此，以民勤为研究区，通过对民勤绿洲边缘积沙带进行了调查，运用相关分析等方法和SPSS软件进行了分析。结果表明：(1) 民勤绿洲边缘积沙带按形成方式可分为天然灌丛积沙带、乔木林带积沙带、人工固沙林积沙带3种，其中天然灌丛形成的积沙带相对高大，而农田边缘单纯的乔木林带形成的积沙带最窄。(2) 控制积沙带高度的环境因子主要是积沙带与主风向的夹角，即积沙带与主风向的夹角越小，则积沙带的高度越低。上风向对准风沙口时，则积沙带与主风向的夹角越小，积沙带的宽度亦越小。(3) 典型相关分析结果好于单相关分析。结果显示，积沙带的形态主要是由其宽度、宽高比和断面形状决定的，而影响积沙带形态特征的环境因子主要是上风向是否对准风沙口以及沙源的距离，亦即当上风向未对准风沙口时积沙带较宽且断面积较大，积沙带与上风向沙源距离越小则积沙带越高大。

关 键 词： 绿洲边缘；积沙带；成因；环境因素；民勤

1949年以来，在我国西北、华北广大沙区经过60多年的防沙治沙，在绿洲边缘形成了大量的防风固沙林带，对保护农田起到了至关重要的作用[1]。在我国西北沙区防沙治沙的措施几乎都实施在绿洲边缘，尤其是绿洲边缘上风向。经过几十年的防沙治沙，在沙区绿洲边缘尤其上风向流沙大量堆积[2-7]，形成了一条流沙堆积带，即积沙带[8]。

目前国内外尚没有关于积沙带的研究报道，与之相近的研究主要有植物阻沙积沙的研究[2-3]、风沙流结构[4-6]、灌丛沙堆[7,9-11]以及荒漠—绿洲过渡带研究等[12-14]。2011—2013年我们首次提出了积沙带的概念及其问题，并对河西走廊绿洲边缘积沙带的成因以及积沙带表征的环境信息[15-17]、绿洲边缘积沙带的防风固沙功能[8]以及积沙带的生态效应[18-20]等进行了调查研究。

甘肃河西走廊沙区的积沙带形成于绿洲农田边缘，是人工措施加自然力作用的结果。积沙带的生态作用既有正向的，亦可能有负向的。正向作用如阻止流沙进入农田、积沙带自身防风阻沙的作用等。负向作用如积沙带衰退、活化后，就会形成新的沙源。目前，河西绿洲边缘积沙带的负向作用尚未表现出来。积沙带的形成，有利于保护农田减少风沙危害。只要合理保护，积沙带可长期稳定存在。积沙带自身作为防风固沙的障碍物，高度是表征其防护功能的一个重要指标[19]。肯定地讲，积沙带的形成是气候环境因子共同作用的结果。如上所述，不论国内国外，截止目前还没有人做过有关绿洲边缘积沙带的研究。绿洲边缘积沙带的形成与哪些因素有关，这是积沙带研究的一个基本问题，在此之前，我们已经对河西走廊沙区积沙带的形成做过初步分析。

甘肃河西绿洲边缘积沙带西高东低，总体上为断续分布，其中以民勤绿洲边缘积沙带最为完整、最为高大[15-17]。鉴于此，本文以民勤沙区为研究区，进一步探究积沙带的动态平衡及其与环境因子的关系，并对积沙带形成的环境条件做进一步的分析。

① **收稿日期：** 2019-01-19； **修订日期：** 2019-06-02
基金项目： 国家自然科学基金(41661064)
作者简介： 常兆丰(1957-)，男，汉族，硕士，主要从事荒漠研究. E-mail：czf123@sina.com

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

民勤县(101°49′~103°12′E、38°05′~39°28′N,海拔1 300~1 350 m)位于河西走廊东北部,地处石羊河下游即腾格里沙漠西部边缘,北和西北侧与巴丹吉林沙漠接壤,土地总面积为16 016 km^2。当地多年平均降水量116.52 mm,蒸发量2 351.79 mm,年平均≥17 $m \cdot s^{-1}$大风28.2 d,沙尘暴25.8 d,扬沙天气37.8 d,浮尘天气30.2 d,依据民勤县统计部门提供的资料,目前境内沙漠、戈壁、盐碱滩地和低山残丘占总土地面积的94.2%,其中沙漠面积占总面积的55.03%。

1.2 观测调查方法

在民勤绿洲上风向边缘大体每10 km选定1个观测样点,共选择了14个观测样点(图1)。在每个样点上沿垂直农田边缘方向(即垂直主风向NW方向)从农田边缘到沙漠平缓处设置样线,测定了积沙带的宽度、高度和迎风坡及背风坡度等(积沙带在该样点的轮廓线)。沿该样线方向调查积沙带及其迎风坡滩地和背风坡滩地的宽度、植物种类、植株高度和植被盖度。植被纯盖度在植株冠幅内用目测法测得。在Google Earth上用标尺工具调查与沙源的距离。气候资料采用中国气象科学数据服务网和当地气象站1971—2016年的数据。

1.3 数据处理方法

积沙带的断面积用三角形面积表示;与沙源的距离为沙源前沿到积沙带上风向边缘的距离,上风向(NW)正对风沙口为1,否则为0;植被类型分为天然灌丛(柴湾)、人工固沙林、自然植被和低盖度(盖度<0.03)自然植被,分别用3、2、1、0表示。以相关关系揭示环境要素对积沙带影响的大小,数据分析用SPSS13.0完成。

其中典型变量用如下公式表示:

$$U_i = A_1X_1 + A_2X_2 + \cdots + A_nX_n \quad (1)$$

$$V_i = B_1Y_1 + B_2Y_2 + \cdots + B_mY_m \quad (2)$$

式中:U_i为积沙带的第i对典型变量的沙丘特征典型变量;X_1、X_2、…、X_n为n个特征变量;A_1、A_2、…、A_n为各特征变量对应的系数;V_i为积沙带的第i对典型变量的气候环境因子典型变量;Y_1、Y_2、…、Y_m为m个环境因子变量;B_1、B_2、…、B_m为各环境变量对应的系数。

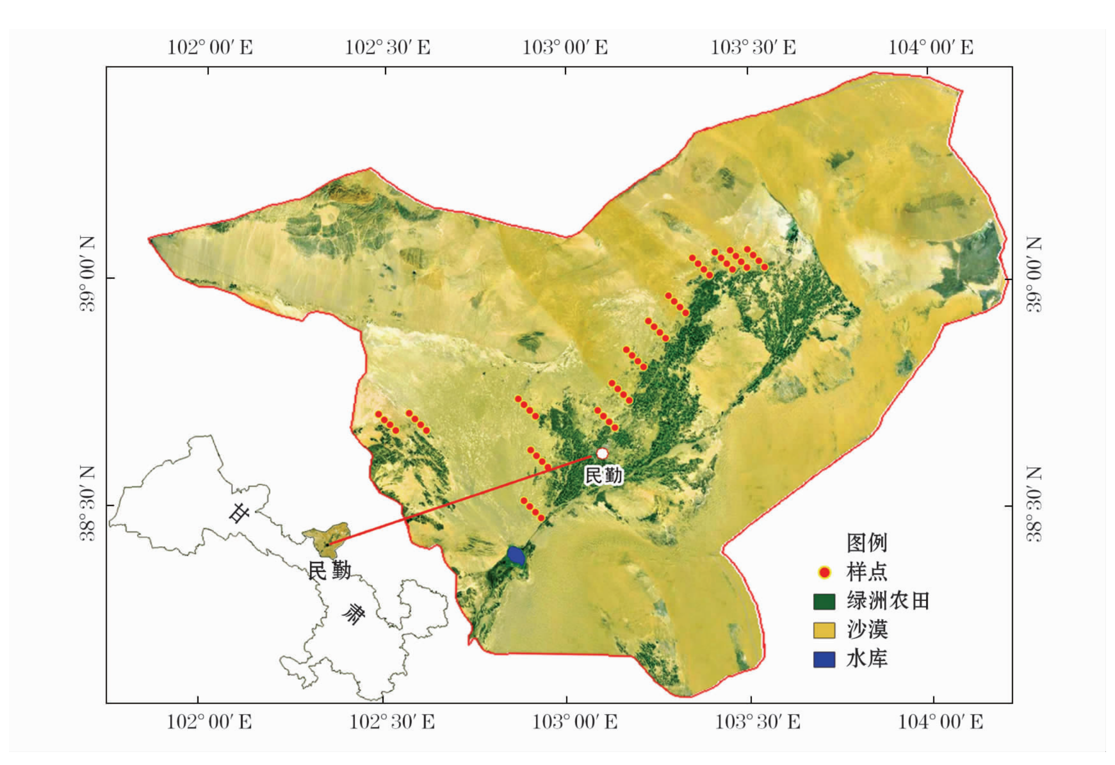


图1 民勤绿洲边缘积沙带观测样点

Fig. 1 Observation points on sand-accumulation belt along the Minqin oasis

2 结果与分析

2.1 积沙带的分布特征

民勤沙区积沙带平均高 9.5 m，最高 18.6 m，最低 4.8 m。平均宽 229.9 m，最宽 461.4 m，最窄 30.4 m。与主风向（NW）的夹角平均 71.7°，最大 90°，最小 27°。宽高比平均 30.8，最大 83.9，最小 6.1。

积沙带高度的分布趋势是：位于民勤绿洲中段大滩乡西北绿洲边缘的 9 号、7 号和 8 号测点处最高，分别为 18.6 m、17.1 m 和 15.2 m，这一带是民勤古老的"柴湾"即天然灌丛区；而位于低盖度天然植被区的 13 号、5 号和 4 号测点处最低，分别为 4.8 m、5.4 m 和 5.5 m（图 2a）。积沙带宽度的分布趋势是：位于民勤绿洲西南边缘人工林地的 4 号、5 号、6 号和 3 号测点处最宽，分别为 461.4 m、449.5 m、441.5 m 和 342.0 m，而位于民勤北部西渠镇西北侧农田防护林的 13 号、12 号、11 号和 14 号测点处最窄，分别为 30.4 m、59.7 m、65.6 m 和 66.7 m（图 2a）。积沙带与主风向（NW）的夹角平均为 71.7°，多数在 80°以上，只有 7 号、8 号和 12 号测点处积沙带走向与主风向夹角很小，分别为 27°、35°和 50°（图 2b）。积沙带的宽高比变差较大，最大是在薛百乡的 4 号和勤峰农场固沙林地 5 号测点，分别为 83.9 和 83.2，农田边缘乔木防护林带形成的积沙带宽度最小，如位于民勤北部西渠镇西北侧的 11 号、12 号、13 号和 14 号，宽高比在 6.1～7.9 之间（图 2b）。

2.2 积沙带的几种形成方式

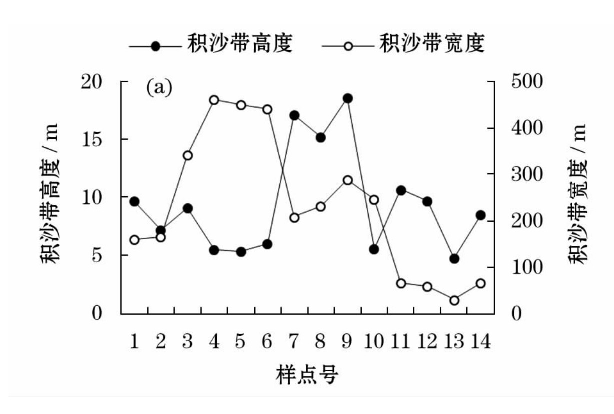
天然灌丛积沙带：历史上民勤绿洲上风向边缘就有连片的白刺灌丛和柽柳灌丛，在当地史志上称作"柴湾"，其中以连古城西北绿洲边缘、泉山西北绿洲边缘一带比较集中，灌丛植物主要以白刺（*Nitraria tangutorum*）和柽柳（*Tamarix ramosissima*）为主，丘间地为沙蒿（*Artemisia arenaria*）、红砂（*Reaumuria songarica*）等。这些自然形成的灌丛密集，阻沙积沙效果好，但由于天然灌丛一般分布不规则，高低起伏的沙丘连片，因而"积沙带"的带状特征不很典型。

乔木林带积沙带：由于这种积沙带主要是在农田边缘营造乔木护田林带形成的，因而这种方式形成的积沙带沿农田边缘较为整齐，"积沙带"的视觉效果十分明显，如石羊河下游民勤西渠西北绿洲边缘的义地村、三附村、西臣村、制产村边缘的积沙带（图 3）。通过对当地的调查，这里并不存在天然柴湾，积沙带是由农田边缘人工防风固沙林带形成的。积沙带最初的形成过程是：先在农田边缘营造胡杨防护林带，然后再在杨树林带株间插植柽柳，逐渐形成了一条以柽柳灌丛为主的积沙带，目前在柽柳积沙带上还残存有枯死的杨树主杆（图 4）。

工人固沙林积沙带：由于农田外围绿洲边缘人工造林一般是斑块状的，因而这种方式形成的积沙带的"积沙带"的视觉效果也并不明显，亦即虽然积沙带整体有所抬高，有的地段形成了"积沙带"的视角效果（图 5、图 6），而有的地段并不能形成"积沙带"的视角效果，如民勤县薛百乡西北绿洲边缘一带。

2.3 积沙带的形成发育与环境因子的关系

2.3.1 单相关关系 积沙带的特征值主要有高度（X_1）、宽度（X_2）、宽高比（X_3）和断面面积（X_4），环境因子主要是积沙带与主风向的夹角（Y_1）、与沙源的距离（Y_2）、防护林类型（Y_3）以及上风向有无风沙口（Y_4）等。积沙带形态特征之间的关系是：积沙带



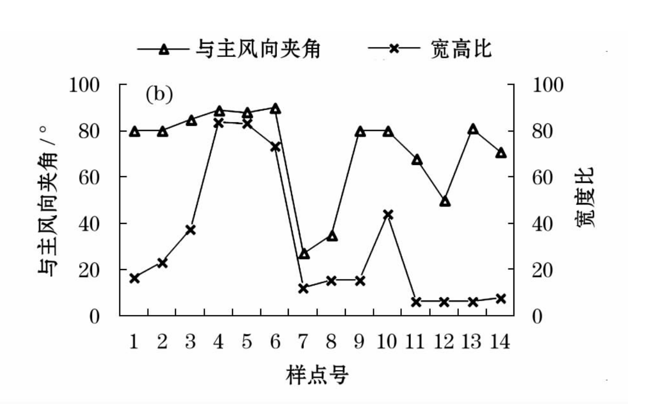


图 2 积沙带形态特征

Fig. 2 Morphological characteristics of sand-accumulation belt

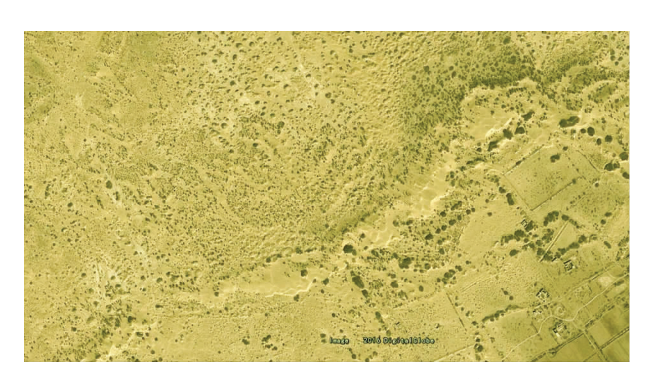


图 3　西渠乡制产村西北农田边缘天然灌丛积沙带

Fig. 3　Natural shrub sand-accumulation belt at the edge of northwest farmland in Zhichan Village of Xiqu Township



图 4　西渠乡西臣村西北农田边缘积沙带

Fig. 4　Sand-accumulation belt at the edge of northwest farmland in Xichen Village of Xiqu Township



图 5　大滩乡北中村农田防护林与沙障积沙带

Fig. 5　Sand-accumulation belt formed by windbreak & sand barrier in Beizhong Village of Datan Township

的高度以及积沙带的宽度与积沙带的断面积为显著正相关($P<0.05$),积沙带的宽度与积沙带的宽高比为极显著正相关($P<0.01$)(表 1)。

积沙带形态特征与环境因子之间的关系是:积沙带高度与积沙带和主风向的夹角之间为极显著负相关($P<0.01$),积沙带的宽度与上风向有无风沙口为显著负相关($P<0.05$),积沙带的宽高比与积沙带和主风向的夹角之间为显著相关($P<0.05$),积沙带和主风向的夹角与上风向风有无沙口亦为显



图 6　大滩乡北东村西北农田边缘积沙带

Fig. 6　Sand-accumulation belt at the edge of northwest farmland in Beidong Village of Datan Township

著负相关($P<0.05$)。

2.3.2　典型相关关系　积沙带的发育形成是多种气候环境因子共同作用的结果,由表 1 可以看出,不仅 4 个积沙带的特征值与 4 个环境变量之间存在着相互作用,而且积沙带特征值之间以及环境变量之间亦存在一定的相互作用。进一步以积沙带的特征值($X_1\sim X_4$)和环境变量($Y_1\sim Y_4$)做典型相关分析,结果表明:

第 1 对典型变量 U_1 和 V_1 为极显著相关($R=0.972$,$P<0.01$),第一典型变量 U_1 解释了总变异的 51.3%,第二典型变量 V_1 只能解释了总变异的 18.7%。公式如下:

$$U_1=0.906X_1+1.956X_2-0.202X_3-1.104X_4 \quad (3)$$

$$V_1=-0.198Y_1-0.333Y_2+0.677Y_3-1.090Y_4 \quad (4)$$

第 2 对典型变量 U_2 和 V_2 为显著相关($R=0.846$,$P<0.05$),第一典型变量 U_2 解释了总变异的 20.1%,第二典型变量 V_2 解释了总变异的 45.5%。公式如下:

$$U_2=-1.499X_1+5.975X_2-5.482X_3-1.773X_4 \quad (5)$$

$$V_2=0.183Y_1-0.246Y_2-0.855Y_3-0.155Y_4 \quad (6)$$

由典型相关系数(表 2)可以看出,积沙带的宽度(X_2)及积沙带的宽高比(X_3)与第 1 对典型变量 U_1 的相关系数较大,上风向是否对准风沙口(Y_4)及到沙源的距离(Y_2)与第 1 对典型变量 V_1 的负相关系数相对较大。积沙带的宽度(X_2)以及积沙带的宽高比(X_3)与第 1 对典型变量 V_1 的相关系数较大,上风向是否对准风沙口(Y_4)及积沙到沙源的距离(Y_2)与第 1 对典型变量 U_1 的负相关系数较大。积沙带的高度(X_1)与第2对典型变量U_2的负相关

表 1　积沙带特征与环境因子的关系

Tab. 1　Relationships between the characteristics of the sand-accumulation belt and the environmental factors

	积沙带特征			环境变量			
	积沙带宽度 / m	积沙带宽高比	积沙带断面积 / m^2	与主风向夹角 / °	沙源距离 / m	防护林类型	上风向风沙口
积沙带高度 / m	-0.15	-0.52	0.66*	-0.66**	-0.11	0.43	0.47
积沙带宽度 / m		0.91**	0.61*	0.40	-0.53	0.30	-0.64*
积沙带宽高比			0.23	0.56*	-0.40	0.17	-0.68*
积沙带断面积 / m^2				0.13	-0.48	0.50	-0.09
与主风向夹角 /°					-0.16	-0.34	-0.61*
沙源距离 / m						-0.45	-0.03
防护林类型							0.43

注：＊＊表示在99%水平上极显著相关，＊表示在95%的水平上显著相关

表 2　典型相关系数

Tab. 2　Canonical correlation coefficient

	第 1 对典型变量				第 2 对典型变量			
	U_1		V_1		U_2		V_2	
与所在的典型变量	X_1	-0.003	Y_1	0.228	X_1	-0.706	Y_1	0.679
	X_2	0.963	Y_2	-0.543	X_2	0.142	Y_2	0.074
	X_3	0.842	Y_3	0.314	X_3	0.288	Y_3	-0.916
	X_4	0.645	Y_4	-0.598	X_4	-0.381	Y_4	-0.715
与另一个典型变量	Y_1	0.222	X_1	-0.003	Y_1	0.575	X_1	-0.598
	Y_2	-0.528	X_2	0.937	Y_2	0.063	X_2	0.120
	Y_3	0.305	X_3	0.819	Y_3	-0.776	X_3	0.244
	Y_4	-0.581	X_4	0.627	Y_4	-0.606	X_4	-0.322

系数相对较大，防护林类型（Y_3）与第 2 对典型变量 V_2 的负相关系数相对较大。积沙带的高度（X_1）与第 2 对典型变量 V_2 的负相关系数相对较大，防护林类型（Y_3）以及上风向是否对准风沙口（Y_4）与第 2 对典型变量 U_2 的相关系数较大。

3　讨 论

除了个别地段历史时期形成的柴湾之外，积沙带的形成开始于绿洲农田边缘的防沙治沙[16-17]。甘肃河西地区在 20 世纪 50 年代开始在农田边缘防沙治沙[19]，绿洲边缘的积沙带经历了 60 多年的形成发育过程，积沙带的形成必须经历发育、成长、稳定和衰退 4 个阶段，河西走廊绿洲边缘的积沙带目前处于稳定状态[18-19]。民勤县是河西走廊乃至全国重点风沙危害区，防沙治沙历史较早，民勤绿洲边缘的积沙带是河西走廊绿洲边缘分布最连续、最高大的积沙带，只要保护适当，再经历 70 ~ 80 a 尚不至于活化造成危害。

影响积沙带形成和发育的因素有许多，这些因子并不是孤立发挥作用的。单相关只反映了单项因子与积沙带高度和宽度的关系，而典型相关反映了因子的线性组合作用。第一个典型相关系数高于单相关系数，由第一个典型相关关系可以看出，积沙带的形态特征主要是由其宽度（X_2）、宽高比（X_3）和断面积（X_4）决定的，而控制积沙带形态特征的环境因子主要是上风向是否对准风沙口（Y_4）及其与沙源的距离（Y_2）。第二个典型相关系数是在剔除了第一典型相关关系后的剩余关系，由第二个典型相关关系可以看出，防护林类型（Y_3）即植被盖度越低以及上风向无风沙口（Y_4）的积沙带其高度越低（表 2）。

除了部分地段积沙带上残存的杨树枯杆（图 4）和沿积沙带分布有整齐的柽柳之外，现存的植被只能反映当前的植被状况，因而本文只对现存植被按植被类型进行了划分，从分析结果看，植被类型对积沙带形态的影响甚微（表 1）。另外，民勤绿洲北部边缘由于农田弃耕（图 3、图 4），积沙带失去了灌溉农田的边缘补给水，积沙带顶部现存的柽柳严重枯死，如何更好地保护弃耕农田边缘的防护林则是一个需要进一步研究的问题。

由于积沙带只是近几年来本课题组提出的一个

新概念,没有历史资料记载,民勤绿洲边缘积沙带形成于何年无法准确判定,但有一点是肯定的,即其形成于绿洲农田边缘的防沙治沙,各地段的形成时间及其原因也不尽相同。前述已知,河西地区在20世纪50年代开始在农田边缘防沙治沙,1956年河西走廊开始了农田防护林的规划设计和营造试点[19],由此可见,河西走廊以及民勤绿洲边缘的积沙带的形成只有60 a的历史。

上风向沙源的丰富状况肯定是积沙带形成和发育的一个重要因素,风沙口不仅具有丰富的沙源,而且风力相对强劲,是风沙流经常发生的地段。由单相关分析可知,上风向对准风沙口即风力较为强劲地段的积沙带较窄,亦即坡度较陡,而积沙带的特征参数与沙源的距离不相关。进一步由典型相关分析可见,在线性组合变量中,积沙带上风向沙源的距离是决定积沙带高度的一个重要因素。典型关系真正反映了积沙带形态特征与环境因素之间的内在关系。

环境因子中没有考虑降水量的原因是,一方面当地降水很少,多年平均只有110 mm,研究区西南至东北跨度不足90 km,因而各观测样点之间的差异不会很大。二是积沙带下风向是灌溉农田,上风向植被均很稀疏,因而本课题在各观测样点并未设置降水观测。

4 结 论

民勤绿洲边缘积沙带高4.8~18.6 m,平均高9.5 m;沙带宽30.4~461.4 m,平均宽229.9 m。积沙带按形成方式可分为天然灌丛积沙带、乔木林带积沙带、人工固沙林积沙带3种,其中天然灌丛形成的积沙带相对高大,而农田边缘单纯的乔木林带形成的积沙带最窄。

控制积沙带高度的环境因子主要是积沙带与主风向的夹角,即积沙带与主风向的夹角越小,则积沙带的高度越低。上风向对准风沙口时,则积沙带与主风向的夹角越小,积沙带的宽度亦越小。典型相关分析结果表明,积沙带的形态特征主要是由其宽度、宽高比和断面积决定的,而影响积沙带形态特征的环境因子主要是上风向是否对准风沙口及沙源的距离,亦即当上风向未对准风沙口时积沙带较宽且断面积较大,积沙带与上风向沙源距离越小则积沙带越高大。

参考文献(References)

[1] 祁有祥,赵廷宁. 我国防沙治沙综述[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2006,5(S1):51-58. [QI Youxing,ZHAO Tingning. The summation of combating and controlling desertification in Cina[J]. Journal of Beijing Forestry University (Social Science Edition),2006,5(S1):51-58.]

[2] 汪万福,王涛,李最雄,等. 敦煌莫高窟崖顶灌木林带防风固沙效应[J]. 生态学杂志,2004,24(11):2492-2500. [WANG Wanfu,WANG Tao,LI Zuixiong,et al. The effects of blown sand on the shrub belt over the top of the Mogao Grottoes[J]. Chinese Journal of Ecology. 2004,24(11):2492-2500.]

[3] 程皓,李霞,侯平,等. 塔里木河下游不同覆盖度灌木防风固沙功能野外观测研究[J]. 中国沙漠,2007,27(6):1022-1026. [CHENG Hao,LI Xia,HOU Ping,et al. Field investigation on function of reducing wind and stabilizing sand under different vegetation cover in lower reaches of Tarim River[J]. Journal of Desert Research,2007,27(6):1022-10226.]

[4] BUTTERIFELD G R. Near-bedmass flux profiles in aeolian sand transport: High-resolution measurements in a wind tunnel[J]. Earth Surface Processes and Landforms,1999,24(5):393-412.

[5] NI J R,LI Z S,MENDOZA C. Vertical profiles of aeolian sandmass flux[J]. Geomorphology,2002,49:205-218.

[6] 冯大军,倪晋仁,李振山. 风沙流中不同粒径组沙粒的输沙量垂向分布实验研究[J]. 地理学报,2007,62(11):1194-1203. [FENG Dajun,NI Jinren,LI Zhenshan. Vertical mass flux profiles of different grain size groups in aeolian sand transport[J]. Acta Geographica Sinica,2007,62(11):1194-1203.]

[7] PARSONS A J,WAINWRIGHT J,SCHLESINGER W H. The role of overland flow in sediment and nitrogen budgets of mesquite dune fields,southern New Mexico[J]. Journal of Arid Environments,2003,53:61-71.

[8] 常兆丰,王强强,张剑挥,等. 绿洲边缘积沙带的防风固沙功能——以甘肃河西沙区为例[J]. 农业工程,2015,5(4):51-58. [CHANG Zhaofeng,WANG Qiangqiang,ZHANG Jianhui,et al. Fuction of preventing wind and sand flow for accumulated sand-belt in oasis edge[J]. Agricultural Engineering,2015,5(4):51-58.]

[9] WANG X,WANG T,DONG Z,et al. Nebkhas development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China[J]. Journal of Arid Environments,2006,65:129-141.

[10] 张萍,哈斯,岳兴玲,等. 白刺灌丛沙堆形态与沉积特征[J]. 干旱区地理,2008,31(6):926-932. [ZHANG Ping,HASI Eerdun,YUE Xingling,et al. *Nitraria* nebkhas: Morphology and sediments[J]. Arid Land Geography,2008,31(6):926-932.]

[11] 于春堂,杨晓晖,尹伟伦,等. 鄂尔多斯高原北缘唐古特白刺灌丛沙包的空间分布格局分析[J]. 北京林业大学学报,2008,30(5):39-45. [YU Chuntang,YANG Xiaohui,YIN Weilun,et al. The spatial pattern of *Nitraria tangutorum* shrub islands in the north of Ordos Plateau[J]. Journal of Beijing Forestry University,2008,30(5):39-45.]

[12] 张新时. 天山北部山地—绿洲—过渡带—荒漠系统的生态建设与可持续农业范式[J]. 植物学报,2001,43(12):1294-1299. [ZHANG Xinshi. Ecological restoration and sustainable agricultural paradigm of mountain-oasis-ecotone-desert system in the

north of the Tianshan mountains[J]. Acta Botanica Sinica,2001,43(12):1294－1299.]
[13] 王蕙,赵文智,常学向. 黑河中游荒漠绿洲过渡带土壤水分与植被空间变异[J]. 生态学报,2007,27(5):1731－1739. [WANG Hui,ZHAO Wenzhi,CHANG Xuexiang. Spatial variability of soil moisture and vegetation in dwsert-oasis ecotone in the middle reaches of Heihe River Basin[J]. Acta Ecological Sinica,2007,27(5):1731－1739.]
[14] 刘冰,赵文智,杨荣. 荒漠绿洲过渡带柽柳灌丛沙堆特征及其空间异质性[J]. 生态学报,2008,28(4):1446－1455. [LIU Bing,ZHAO Wenzhi,YANG Rong. Charactcristics and spatial heterogeneity of *Tamarix ramosissima* nebkhas at desert-oasis ecotone[J]. Acta Ecological Sinica,2008,28(4):1446－1455.]
[15] 刘世增,常兆丰,张剑挥,等. 甘肃河西绿洲边缘积沙带所表征的气候环境信息[J]. 干旱区研究,2013,20(2):364－371. [LIU Shizeng,CHANG Zhaofeng,ZHANG Jianhui,et al. Climate and environment information from sand accumulation belt in oasis marginal zone in the Hexi Corridor,Gansu Province[J]. Arid Zone Research,2013,20(2):364－371.]
[16] 常兆丰,刘世增,唐进年,等. 河西绿洲边缘积沙带的成因初探[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(5):60－66. [CHANG Zhaofeng,LIU Shizeng,TANG Jinnian,et al. Formation causes of accumulated sand-belt in the Hexi oasis edge[J]. Journal of Aril Land Resources Environment. 2014,28(5):60－66.]
[17] 常兆丰,张剑挥,唐进年,等. 河西绿洲边缘积沙带与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,2012,31(6):1548－1555. [CHANG Zhaofeng,ZHANG Jianhui,TANG Jinnian,et al. Relationships between sand-accumulation belt and environmental factors along oasis edge of Hexi,Gansu Province of northwest China[J]. Chinese Journal of Ecology,2012,31(6):1548－1555.]
[18] 常兆丰,张剑挥,王强强,等. 河西绿洲边缘积沙带的稳定性及其生态效应[J]. 生态学杂志,2014,33(2):433－439. [CHANG Zhaofeng,ZHANG Jianhui,WANG Qiangqiang,et al. Stability and ecological effects of accumulated sand-belts along the oasis fringe in Hexi of Gansu[J]. Chinese Journal of Ecology,2014,33(2):433－439.]
[19] 常兆丰,王强强,张剑挥,等. 河西绿洲边缘积沙带及其生态意义[J]. 生态学报,2015,33(24):8046－8052. [CHANG Zhaofeng,WANG Qiangqiang,ZHANG Jianhui,et al. The ecological significance of accumulated sand-belt along the oasis edge of Hexi of Gansu[J]. Acta Ecological Sinica,2015,33(24):8046－8052.]
[20] CHANG Z F,WANG Q Q,ZHANG J H,et al. Accumulated sand-belt along the oasis fringe and its ecological significance in Hexi of Gansu[M]//David Chen. Environmental science and information application technology. London:CRC Press,2015:51－58.

Environmental factors causing the formation of sand-accumulation belt along the oasis fringe in Minqin

CHANG Zhao-feng[1], ZHU Shu-juan[1], DU Juan[1], SHI Xue-gang[2], DUAN Xiao-feng[1], ZHAO Peng[1], ZHANG Jian-hui[1]
(1 *Gansu Desert Control Research Institute*,*Lanzhou* 730070,*Gansu*,*China*;
2 *Gansu Agricultural University Forestry College*,*Lanzhou* 730070,*Gansu*,*China*)

Abstract: After 60 years of desert control effort in Hexi region of Gansu Province,China,a sand-accumulation belt are formed along the oasis fringe. The sand-accumulation belt is 4.8－18.6 m high and 30.4－461.4 m wide along the fringe of Minqin Oasis. Why the belt is higher in some area while relatively short in another area; or wider in some area while narrow in another area? To find the answers,we investigated the sand-accumulation belt along the fringe of Minqin Oasis,and made the analysis using the correlation analysis method and SPSS software. The results show as follows: (1) According to its formation ways,the sand-accumulation belt along the fringe of Minqin Oasis can be divided into 3 types as natural shrub belt,arbor forest belt and artificial sand-fixation forest belt. The belt formed by natural shrubs is relatively tall,whereas the belt formed by arbor forest trees at the edge of farmland is relatively narrow. (2) The angle between the sand-accumulation belt and the prevailing wind is the main environmental factor controlling the height of sand-accumulation belt. The smaller the angle is,the lower the belt is. When the upper wind is aligned with the wind-drift sand mouth,the smaller the angle is,the narrower the belt is. (3) Result of canonical correlation analysis is better than that of single correlation analysis. The morphological of sand-accumulation belt are mainly determined by its width,aspect ratio and sectional shape. The main environmental factors effecting the morphological characteristics of sand-accumulation belt are whether there is wind-drift sand mouth in the upper wind direction as well as the distance from sand source. If there is no sand mouth in its upwind direction,the sand accumulation belt will be wider and the sectional area be bigger; if the distance between the sand-accumulation belt and the upwind sand source is small,the sand-accumulation belt will be higher.

Key words: oasis fringe; sand-accumulation belt; cause of formation; environmental factor; Minqin